

# 고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강의 감쇠능에 미치는 역변태의 영향 Effect of Reverse Transformation on the Damping Capacity of High Manganese Austenitic Stainless Steel

강 창 룡\*†  
C. Y. Kang\*†

(접수일 : 2012년 04월 13일, 수정일 : 2012년 06월 27일, 채택확정 : 2012년 07월 02일)

**Key Words** : High Manganese Austenitic Stainless Steel(고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강), Reverse Transformation(역변태), Reversed Austenite(역변태 오스테나이트), Damping Capacity(감쇠능), Stability of Austenite(오스테나이트 안정도)

**Abstract** : This study was carried out to investigate the effect of reverse transformation on the damping capacity in high manganese austenitic stainless steel.  $\alpha'$ -martensite was formed with the specific direction and surface relief by deformation. Over 95% of the austenite phase was transformed to deformation-induced  $\alpha'$ -martensite by 70% cold rolling. Reverse transformation became rapid above an annealing temperature of 550°C, but there was no significant transformation above 700°C. In addition, with increasing annealing time at 700°C, reverse transformation was induced rapidly, but the transformation was almost completed at 10 min. Damping capacity was increased up to 700°C, and then unchanged with the increasing annealing temperature. Damping capacity increased steeply with an increasing reverse treatment time up to 10min, whereas there were no significant change with a treatment time of more than 10 min. Damping capacity increased with an increasing the reversed austenite and was strongly affected by reversed austenite.

## 1. 서 론

Mn이 많이 첨가된 오스테나이트계 스테인리스강은 Cr과 Ni을 낮추는 대신에 Mn을 많이 첨가함으로써 기존 오스테나이트계 스테인리스강이 갖는 가격이 높은 문제를 해결하기 위해 개발된 강이지만 이 또한 항복강도가 낮아 여러 산업 분야에서 구조용 재료로서 다양하게 사용되지 못하고 있다.

때문에 이러한 강에서 가공에 의해 오스테나이트 조직을 마르텐사이트 조직으로 가공유기 변태 시킨 다음 이를 가열하여 오스테나이트 조직으로 역 변태시켜 결정립을 미세화 하여 강인화 하려는 방법 등이 연구되고 있다<sup>1,2)</sup>.

상온에서 오스테나이트 조직을 갖는 강에서 역변태를 이용하여 결정립을 미세화 시켜 강인화 하는 방법에 대한 연구는 많이 수행되었지만<sup>1,~4)</sup>, 강도를

높이기 위해 역변태 처리를 하게 되면 감쇠능이 달라질 것으로 예상되지만 역변태처리에 따른 감쇠능 변화를 연구한 논문은 없다. 뿐만 아니라 오스테나이트의 안정도는 가공온도, 결정립 크기 등에도 달라지지만 이들 강에서와 같이 Cr과 Ni의 양을 낮추는 대신에 Mn을 많이 첨가하면 이들 합금원소의 양이 달라지는데 기인되어 오스테나이트의 안정도가 달라지게 되고<sup>5,6)</sup>, 그 결과 가공유기 마르텐사이트 변태 거동이 달라지게 된다. 또한 가공유기 마르텐사이트 변태 거동이 달라지면 역변태 거동도 달라지게 되고, 이에 기인되어 감쇠능도 달라질 것으로 판단된다. 그러나 이들 강에서 역변태 거동과 감쇠능을 연관시켜 연구한 논문도 없다.

본 연구는 Cr과 Ni의 양을 낮추는 대신에 Mn이 많이 첨가되어 있는 오스테나이트계 스테인리스강을 가공하여 마르텐사이트 조직으로 변태시킨 다음 이

\*† 강창룡(교신저자) : 부경대학교 금속공학과  
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6336

\*† C. Y. Kang(corresponding author) : Department of Matallurgical Engineering, Pukyong National University.  
E-mail : metkcy@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6346

Table 1 Chemical composition of high manganese austenitic stainless steel(wt%)

C	S	P	Si	Mn	Ni	Cr	Cu	Mo	Co
0.06	0.01	0.08	0.60	6.2	5.2	14.2	1.91	0.1	0.16

를 어닐링처리하여 오스테나이트 조직으로 역변태 처리 하였을 때 역변태 거동과 역변태 거동에 따른 감쇠능 변화를 조사하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시료

오스테나이트계 스테인리스강 중 Cr을 14%, Ni을 5%로 낮추는 대신에 Mn이 6% 첨가된 스테인리스강을 70% 냉간압연 하여 오스테나이트 조직의 97% 이상을 마르텐사이트 조직으로 변태시켜 시료로 사용하였다. 실험에 사용된 시료의 화학조성을 Table 1에 나타내었다.

### 2.2 역변태 처리

70% 냉간압연 하여 97% 이상의 마르텐사이트 조직으로 만든 시료에 대하여 역변태에 미치는 온도의 영향을 알아보기 위해 500℃에서 750℃ 사이의 온도에서 10분 어닐링처리 하였고, 또한 시간의 영향을 알아보기 위하여 700℃에서 1분에서 최대 60분 까지 시간을 달리하는 어닐링처리를 하였다.

### 2.3 미세조직 관찰

냉간압연한 시료의 미세조직을 광학현미경, 주사 전자현미경과 투과 전자현미경(Hitach, 200kV)을 사용하여 관찰하였다. 또한 역변태처리 된 시료의 미세

조직도 투과 전자현미경으로 관찰하였다. 이 때 투과 전자현미경 관찰은 시료를 jet연마에 의해 박막으로 만든 후 관찰하였다.

### 2.4 X선회절 시험

냉간압연에 의해 생성된 마르텐사이트 양과 이를 역변태처리 하였을때 생성된 오스테나이트의 양은 X-선 회절시험에 의해 측정 하였다. X-선 회절시험은 Cu-K $\alpha$ 선을 이용하여 2 $\theta$ 를 10 ~ 80 범위로 정하여 1°/min의 속도로 시험 하였고, 이때 얻은 회절선도로부터 각상의 상대 적분강도 값을 이용하여 체적분율을 구하였다<sup>6)</sup>.

### 2.5 감쇠능 측정

감쇠능 측정은 70% 냉간가공한 시료를 120mm × 0.9mm × 1.0mm 크기로 만든 다음 역변태처리 후 횡형 내부 마찰측정장치(Internal friction measurement machine : 진공이화학, IFT-1500)를 이용하여 측정하였다. 이 방법은 진동을 가하는 전극과 진동을 검출하는 전극위에 시료를 2개의 평행한 세선으로 전극에 접촉되지 않게 배열한 다음, 진동을 가하는 전극으로 강제 진동시킨 후 자유 감쇠시켜 최종 감쇠할 때까지의 파수를 측정하는 방법으로 대수 감쇠율 ( $\delta=1/n \ln A_0/A_n$ , 여기서 n: 파수, A<sub>0</sub> : 최초 파의 진폭, A<sub>n</sub> : n번째 파의 진폭)을 측정하였다.

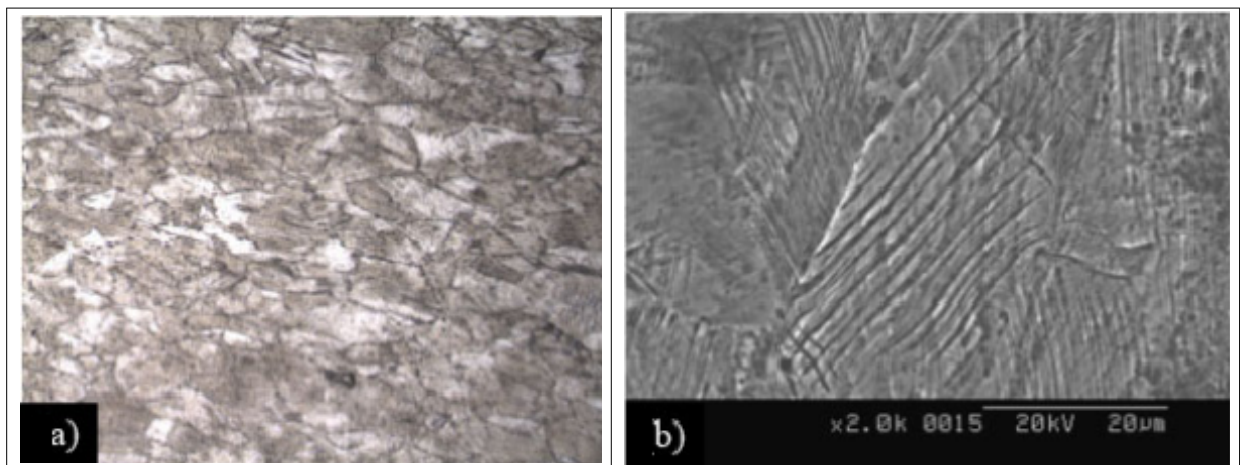


Fig. 1 Micrographs of 70% cold rolled high manganese austenitic stainless steel.

a) Optical(×200), b) SEM

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 가공유기 마르텐사이트 변태거동

Fig. 1은 Cr을 14%, Ni을 5%로 낮추는 대신 Mn을 6% 첨가한 오스테나이트계 스테인리스강을 상온에서 70% 냉간압연 하였을 때의 미세조직을 광학현미경과 주사 전자현미경으로 나타낸 것이다. 오스테나이트 조직이 가공에 의해 마르텐사이트 조직으로 변태되어 있는 것을 알 수 있다. 또한 주사 전자현미경 사진인 b)로부터 가공에 의해 생성되는 마르텐사이트는 표면기복을 일으키면서 방향성을 지니고 생성되어 있거나 또는 서로 교차하면서 생성되어 있는 것을 알 수 있다<sup>7)</sup>.

Fig. 2는 70% 냉간가공 한 시료의 미세조직을 투과 전자현미경으로 나타낸 것으로 a)는 명시야상, b)는 명시야상으로 나타낸 상의 제한시야 회절패턴(SADP)과 이를 분석하여 나타낸 것이며, c)는 암시야상으로 나타낸 것이다. 이 투과 전자현미경 사진으로부터 밴드형상의  $\alpha'$ -마르텐사이트가 특정한 방향성을 지니면서 생성되어 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 Mn이 많이 첨가되어 있는 오스테나이트계 스테인리스강의 가공유기 마르텐사이트 변태거동을 알아보기 위하여 가공량을 달리하여 냉간압연 하였을 때 생성된 마르텐사이트의 양을 조사하여 나타낸 것이다. 가공에 의해 오스테나이트 조직이 마르텐사이트 조직으로 변태 되는데 기인되어 가공량의 증가와 함께 마르텐사이트의 양이 빠르게 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 70%정도 냉간압연하면 오스테나이트 조직의 97% 이상이 마르텐사이트 조직으로 변태되고 있는 것을 알 수 있다.

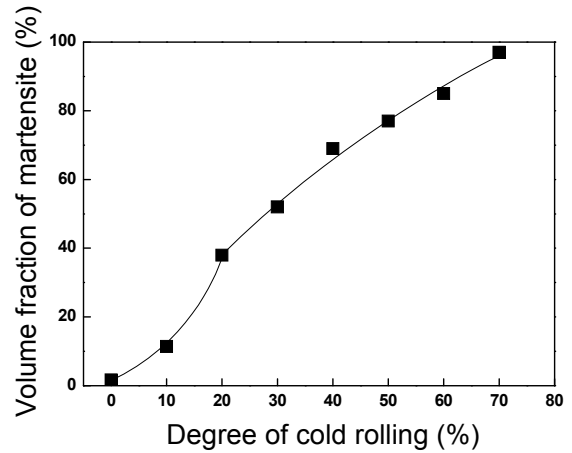
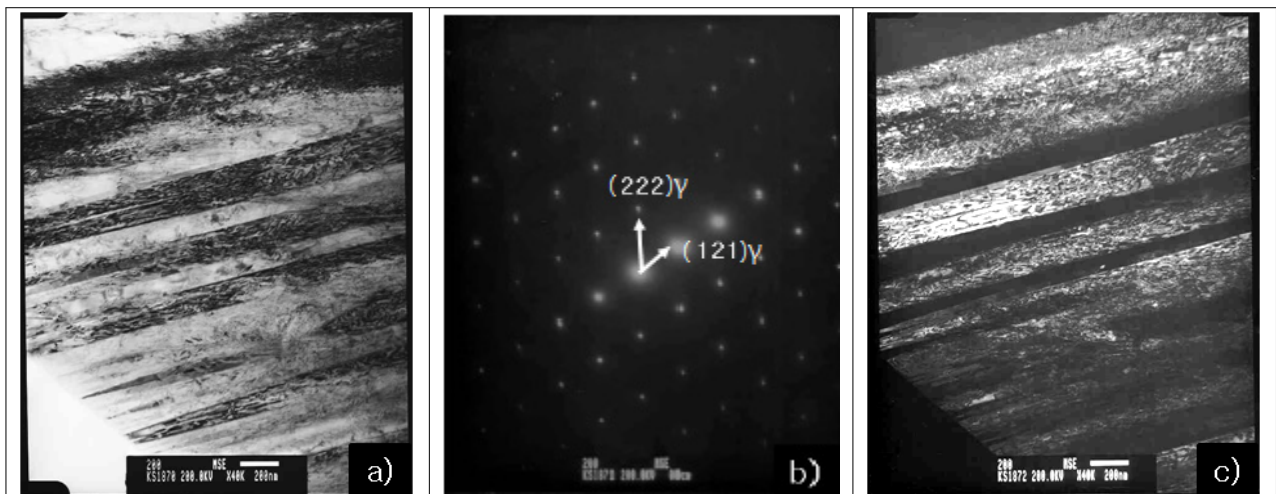


Fig. 3 Effect of degree of cold rolling on volume fraction of deformation induced martensite in high manganese austenitic stainless steel

#### 3.2 역변태 거동

Fig. 4는 70% 냉간압연된 시료를 700°C에서 10분 어닐링처리 하였을 때의 미세조직을 투과 전자현미경으로 나타낸 것으로 사진 a)는 명시야상으로 나타낸 것이고, b)는 명시야로 나타낸 상의 제한시야 회절패턴(SAD)과 이를 분석하여 나타낸 것이다. 결정립 크기가 200nm 이하인 극히 미세한 오스테나이트가 생성되어 존재하고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 역변태 처리시 생성되는 오스테나이트에 미치는 어닐링처리 온도의 영향을 알아보기 위하여 냉간가공 하여 97% 이상의 마르텐사이트 조직을 갖는 시료를 500°C에서 750°C사이의 여러 온도에서 10분 어닐링처리 하였을 때 역 변태된 오스테나이트의 양을 조사하여 나타낸 것이다. 역변태된 오스테나이트



a) Bright filed ( $\times 40k$ ), b) SADP and Indexing of SADP(BCC), Z=[113], c) Dark filed ( $\times 40k$ )

Fig. 2 TEM micrographs showing the deformation induced  $\alpha'$ - martensite in 70% cold rolled high manganese austenitic stainless steel

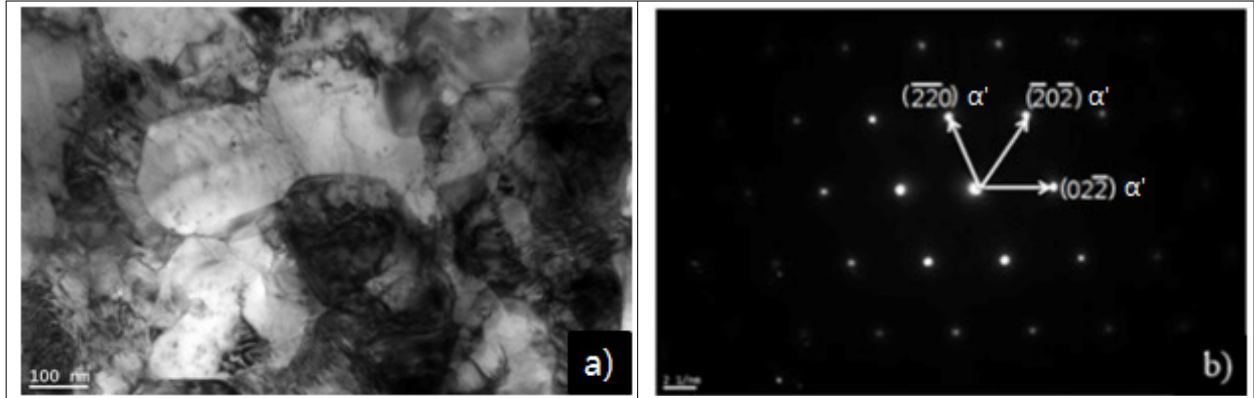


Fig. 4 TEM micrograph showing the reversed austenite by annealing for 10min. at 700°C in high manganese austenitic stainless steel a) Bright field image, b) SAD and Indexing of SADP

트의 양은 550°C까지는 서서히 증가하지만, 어닐링처리 온도가 550°C 이상이 되면 온도증가와 함께 빠르게 증가하고, 700°C가 되면 마르텐사이트의 대부분이 오스테나이트로 역변태 되어 있는 것을 알 수 있다.

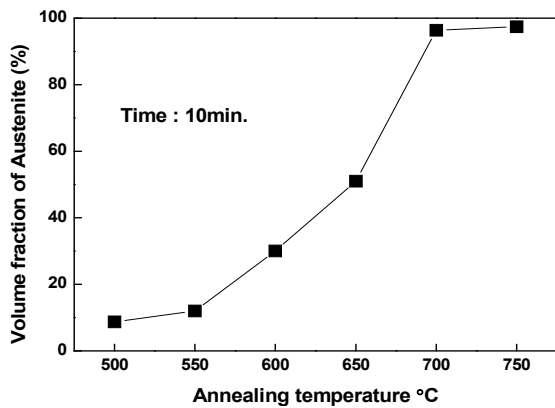


Fig. 5 Effect of annealing temperature on volume fraction of reversed austenite in high manganese austenitic stainless steel

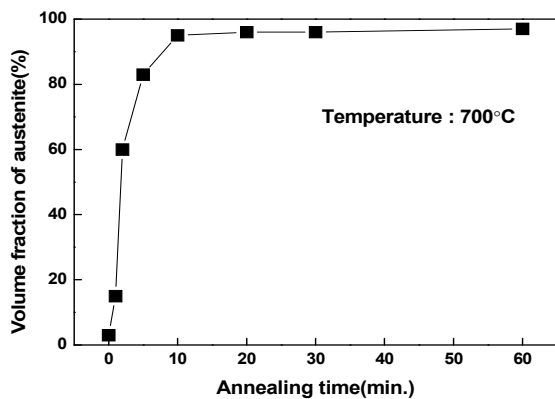


Fig. 6 Effect of annealing time on volume fraction of reversed austenite in high manganese austenitic stainless steel

Fig. 6은 역변태에 미치는 어닐링처리 시간의 영향을 알아보기 위하여 시료를 700°C에서 시간을 달리 하여 어닐링처리 하였을 때 역변태된 오스테나이트의 양을 조사하여 나타낸 것이다. 어닐링처리 시간의 증가와 함께 오스테나이트의 양이 빠르게 증가하고, 어닐링처리 시간이 10분 정도 되면 마르텐사이트의 대부분이 오스테나이트로 변태 되어 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 7은 70% 냉간가공 한 다음 700°C에서 60분 어닐링처리 한 시료의 미세조직을 투과전자현미경으로 나타낸 것이다. 약 200nm 크기 이하의 오스테나이트 조직이 존재하고 있는 것을 알 수 있고, 이는 Fig. 4에서 나타낸 10분 어닐링처리 한 시료의 결정립 크기가 비슷한 크기인 것을 알 수 있다. 따라서 역변태 된 오스테나이트 조직은 가공시 도입된 전위 등과 같은 많은 결함을 지니고 있기 때문에 어닐링처리 하는 동안 성장이 잘 일어나지 않고 있다는 것을 알 수 있다.

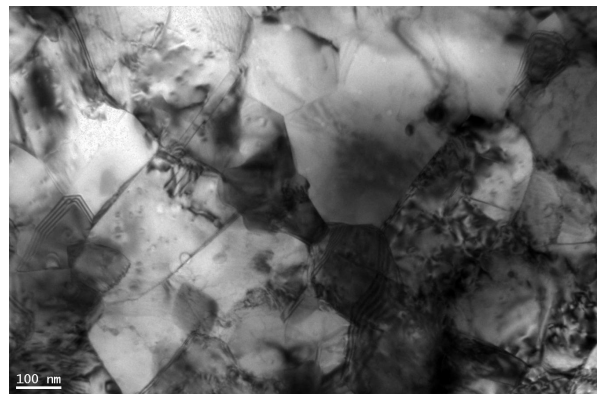


Fig. 7 TEM micrographs showing the reversed austenite by annealing for 60min at 700°C in high manganese austenitic stainless steel

### 3.3 감쇠능에 미치는 역변태 처리의 영향

Fig. 8은 감쇠능에 미치는 역변태처리 온도의 영향을 알아보기 위하여 70% 냉간압연 한 다음 여러 온도에서 10분 어닐링처리 한 시료의 감쇠능을 조사하여 나타낸 것이다. 어닐링처리 온도 증가와 함께 감쇠능은 서서히 증가하다 600°C가 넘어서면 빠르게 증가하고 700°C 이상이 되면 다시 서서히 증가하고 있는 것을 알 수 있으며, 이러한 거동은 어닐링 처리 온도변화에 따라 역변태 되는 오스테나이트의 거동과 비슷한 것을 알 수 있다.

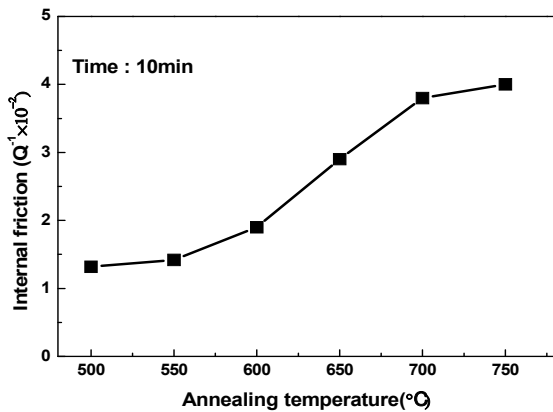


Fig. 8 Effect of annealing temperature on the internal friction of high manganese austenitic stainless steel

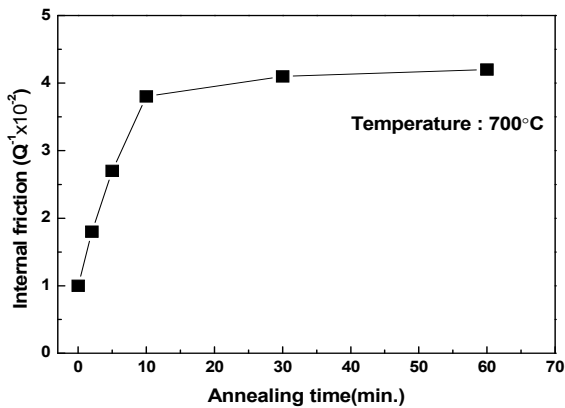


Fig. 9 Effect of annealing time on the internal friction of high manganese austenitic stainless steel

Fig. 9는 700°C에서 시간을 달리하여 역변태 처리 한 시료의 감쇠능을 조사하여 나타낸 것이다. 어닐링처리 시간의 증가와 함께 감쇠능은 10분까지는 빠르게 증가하지만, 10분 이상이 되면 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다. 또한 이와 같은 거동은 Fig. 6의 어닐링처리 시간에 따라 역변태 되는 오스테나이트의 거동과 비슷한 것을 알 수 있다.

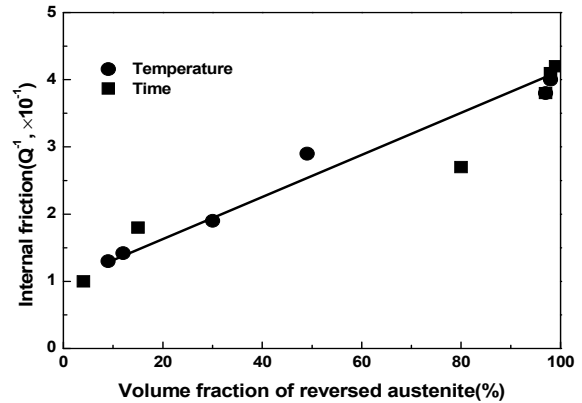


Fig. 10 Relationship between internal friction and volume fraction of reversed austenite

Fig. 10은 온도와 시간을 달리하여 어닐링처리 하였을 때 역변태된 오스테나이트의 양과 감쇠능과의 관계를 조사하여 나타낸 것이다. 역변태 된 오스테나이트의 양이 증가함에 따라 감쇠능은 직선적인 비례관계로 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 일반적으로 마르텐사이트조직으로 된 재료의 감쇠는 전위 이동 등에 기인되어 일어나지만, 마르텐사이트 조직은 많은 전위를 가지고 있다. 따라서 이러한 전위들의 상호작용 등에 기인되어 전위이동이 어렵게 되기 때문에 감쇠능은 낮다고 알려지고 있다. 이에 반하여, 오스테나이트 조직을 갖는 시료의 감쇠는 전위 및 적층결함의 경계 등의 이동에 의해 기인된다고 알려져 있다<sup>7,8)</sup>. 따라서 오스테나이트의 조직을 갖는 시료는 마르텐사이트 조직을 갖는 시료에 비해 전위밀도가 낮고, 적층결함이 많이 존재하기 때문에 전위이동과 적층결함의 경계 등의 이동이 용이하여 마르텐사이트 조직을 갖는 시료에 비해 감쇠능은 높다. 때문에 역변태되는 오스테나이트의 량이 증가 할수록 감쇠능은 증가한다고 판단된다.

## 4. 결론

고 Mn 오스테나이트계 스테인리스강을 가공에 의해 오스테나이트 조직을 마르텐사이트 조직으로 변태시킨 다음 이를 역변태 처리 하여 감쇠능 변화를 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 가공에 의해 α'-마르텐사이트가 특정한 방향성을 지니면서 생성되었고, 70%의 가공에 의해 97% 이상의 마르텐사이트가 생성되었다..
2. 역변태는 550°C 이상이 되면 온도 증가와 함께

빨라 지지만, 700°C 이상에서 부터는 큰 차이는 없었다. 또한 역변태는 어닐링처리 시간의 증가와 함께 빠르게 일어나고, 10분이 되면 역변태가 거의 완료되었다.

3. 감쇠능은 역변태처리 온도 증가와 함께 증가하다, 700°C 이상이 되면 큰 변화가 없었다.

4. 감쇠능은 역변태처리 시간의 증가와 함께 빠르게 증가하고, 700°C에서 10분 이상이 되면 큰 변화가 없었다.

5. 역변태된 오스테나이트의 양이 증가할수록 감쇠능은 증가하였다. 따라서 감쇠능은 역변태되는 오스테나이트에 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

Microstructure on the Damping Capacity of 12Cr Martensitic Heat-resisting Steel”, The Korean Soci. for Power System Engineering, 14, 3, pp. 78-83.

8. Adams, R. D. and Fox, M. A. O., 1973, "Principal mechanism of damping in material", j. of the Iron and Steel Institute, 211, pp. 37-43.

### 참고 문헌

1. Kim, Y. H., Ahn, Y. S., Jeong, H. Y., Kang, C. Y., Jeong, B. H. and Kim, C. G., 1995, "Mechanical Properties of Ultrafine ( $\alpha'$ + $\gamma$ ) Two Phase Stainless Steel", J. of the Inst. of Met. & Mater., 33, 1, pp. 42-48.
2. Kim, Y. H., Ahn, Y. S., Jeong, H. Y., Kang, C. Y., Jeong, B. H. and Kim, C. G., 1995, "Mechanical Properties of Ultrafine ( $\alpha'$ + $\gamma$ ) Two Phase Stainless Steel", J. of the Inst. of Met. & Mater., 33, 11, pp. 1431-1437.
3. Lee, Y. K. and Kwon, O. J., 1993, "Effect of Alloy Elements on the  $\alpha'/\gamma$  Reversal Transformation of Fe-Cr-Ni Steel, J. of the Inst. of Met. & Mater., 33, 11, pp. 1317-1325.
4. K. Nohara, Ono, Ono, N. Ohashi, 1977, "Composition and Grain Size Dependencies of Strain-induced Martensite Transformation in Meta Austenitic Stainless Steels", Iron and Steel, 63, 5, pp. 212-222.
5. Kang, C. Y., Um, J. H. and Kim, H. J., 2007, "Effect of Grain Size on the Tensile Strength of Fe-26Mn-2Al Alloy with Deformation Induced Martensite Transformation", J. of the Inst. of Met. & Mater., 45, 3, pp. 157-162.
6. Jee, K. K., Han, J. H. and Jang, W. Y., 2004, "Measurement of volume fraction of martensite in Fe-Mn base alloys", Mater. Sci. and Engineering A 378, pp. 319-322
7. Lee, S. M. and Kang, C. Y., 2010, "Effect of